

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-091095

(43)Date of publication of application : 31.03.2000

(51)Int.Cl.

H05G 2/00
G21K 5/02
H05H 1/24

(21)Application number : 10-259055

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 14.09.1998

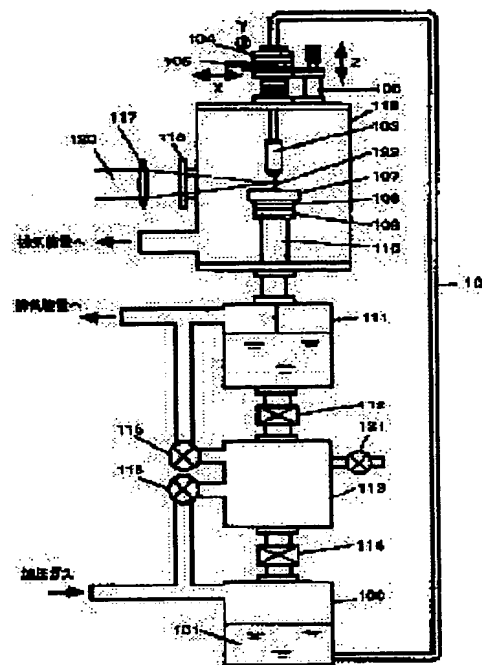
(72)Inventor : KONDO HIROYUKI
KAMITAKA NORIAKI

(54) X-RAY GENERATING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an LPX generating no breakdown and degradation of an X-ray optical element by particles dispersed from a target even in the case of generating the strong X-ray for a long time.

SOLUTION: A target material 101 in a liquefied target reservoir 100 is injected from a nozzle 103 through a pipeline 102 and a feed through. The liquid column 122 of the target material injected from the nozzle 103 is irradiated with the laser beam so as to form plasma to generate X-ray. After the target material passes through a variable aperture 107 and a pipe 110, the target material is accumulated in a container 111. Thereafter, the target material is returned to the liquefied target material reservoir 100 for circulation through a container 113 after the pressure equalizing operation using each valve. The target material injected from the nozzle 103 can be continuously injected or intermittently injected.



BEST AVAILABLE COPY

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

JPO and NCIP1 are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The X-ray generator characterized by plasma-izing the target ingredient concerned, and being the X-ray generator made to generate an X-ray, and for the gestalt of said target ingredient being more liquefied than the plasma concerned, and being breathed out more nearly continuously than a delivery or intermittently by irradiating laser light at the target ingredient placed into the container exhausted by the vacuum.

[Claim 2] The X-ray generator characterize by plasma-ize the target ingredient concerned, be the X-ray generator make to generate an X-ray, and for the gestalt of said target ingredient be more powdered than the plasma concerned, spread the target ingredient of the shape of this powder in a solution, and breathe out the turbidity liquid concerned more nearly continuously than a delivery or intermittently by irradiate laser light at the target ingredient placed into the container exhausted by the vacuum.

[Claim 3] The X-ray generator characterized by being an X-ray generator according to claim 1 or 2, and the spray velocity of said target ingredient or said turbidity liquid being at least 50 or more m/sec.

[Claim 4] The X-ray generator characterized by being an X-ray generator given in any 1 term among claim 1 to claims 3, and said liquefied target or said turbidity liquid being the metal of the dissolved liquid phase.

[Claim 5] The X-ray generator characterized by being an X-ray generator according to claim 4, and the metal of said liquid phase by which melting was carried out being an ingredient containing tin (Sn) or tin (Sn).

[Claim 6] The X-ray generator characterized by being an X-ray generator given in any 1 term among claim 1 to claims 3, and said liquefied target or said turbidity liquid being the cooled liquefied gas.

[Claim 7] The X-ray generator characterized by being an X-ray generator according to claim 6, and said cooled liquefied gas being gas containing rare gas or rare gas.

[Claim 8] The X-ray generator characterized by providing the circulator style for carrying out the cyclic use of waste water of the matter or said turbidity liquid of the liquid phase which is the X-ray generator of a publication and is used for any 1 term as a target ingredient among claim 1 to claims 7.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] About a suitable X-ray generator to use as an X line source used for X-ray devices, such as an X-ray microscope, an X-rays spectroscopic analyzer, and an X-ray aligner, in more detail, by irradiating laser light on a target ingredient, this invention plasma-izes the target ingredient concerned, and relates to the X-ray generator (below, referred to as a laser plasma X line source and LPX) made to generate an X-ray from the plasma concerned.

[0002]

[Description of the Prior Art] Though it is high brightness, since LPX is small, it attracts attention as the light source for the X-ray plants (for example, an X-ray microscope, an X-rays spectroscopic analyzer, etc.) of laboratory size. Moreover, in recent years, it is observed also as the light source for X-ray contraction aligners.

[0003] However, in putting LPX in practical use, the scattering particle emitted from the target ingredient the plasma and near the plasma poses a problem. The configuration of a scattering particle is various from the thing of ion, an atom, or a light cluster-like very small particle to the liquid drop-like thing which attains to the diameter of several micrometers - about 10 micrometers of numbers and by which melting was carried out. If a liquid drop-like heavy large scattering particle collides with an X-ray optics component, it will damage an optical element. Moreover, on an X-ray optics component, a small atom-like scattering particle will carry out adhesion deposition, and will reduce the engine performance (a reflection factor and permeability) gradually.

[0004] a small light atom-like scattering particle - receiving - the inside of a vacuum housing - a buffer gas - enclosing - the perimeter of an X-ray optics component - covering - a wrap - the amount adhered and deposited on an optical element by things - remarkable - it can decrease (JP,7-127600,A) - it was not able to be prevented with the conventional technique that the liquid drop-like big scattering particle of mass collides with an X-ray optics component. That is, although the method of intercepting by the shutter mechanically to such a liquid drop-like scattering particle is taken, since the rate of a liquid drop-like scattering particle has distribution with the weight etc., it is completely unremovable.

[0005] Moreover, in order to remove the big scattering particle of such a particle size, it is a high speed (40,000 revolutions per minute.) about a disc-like target ingredient with a diameter of about 10cm. The attempt which centralizes the direction of the scattering particle emitted from near the laser radiation point on a hand of cut with the inertial force of a disk was performed by rotating the rate of the tangential direction of a disk by about 200 m/sec, and irradiating laser light near [the] the periphery (L.A.Shmaenok et al., Proceedings of the Conf.On Applications of Laser Plasma Radiation II, SPIE 2523, and 12-14 July 1995).

[0006] However, by this approach, since a limitation was in the magnitude of a disk, after irradiating a predetermined shots per hour, the trouble of not stopping exchanging targets was. In order to exchange targets, if the vacua of a vacuum housing is not broken, it is necessary to learn and accumulate, and it is necessary to interrupt operation of the equipment which is using LPX, and effectiveness is reduced remarkably.

[0007] Moreover, a target ingredient is made to blow off from the nozzle which is vibrating by the piezo-electric element as matter (for example, alcohol etc.) of a liquid in ordinary temperature, an about 10-micrometer minute drop train is made, and the approach of irradiating laser light at this drop is also performed. although there be the features that few big scattering particles of particle size be since this method have the small magnitude of the ** target ingredient which can perform continuation supply of a ** target easily , and all the drops that irradiate laser light evaporate momentarily , it be difficult to take the synchronization with a ** drop and laser light with a complicated ** nozzle shaker style , and a fault of it be stabilize and be hard generate an X-ray be .

[0008] Although the attempt which irradiates laser is also performed into the liquid column part until a drop is generated from a nozzle outlet in order that taking the synchronization with a drop and laser light may solve the problem of being difficult (L.Malmqvist et al., Rev.Sci.Instrum.67, and 4150 (1996)), generally there is the die length of this liquid column part only about several mm from a nozzle outlet. For this reason, the distance to a plasma production location and a nozzle tip becomes near, and ion, an atom, etc. of a target ingredient which were emitted from the plasma collide with a nozzle, and shave off a nozzle point. And this shaved-off matter will adhere on an X-ray optics component, and will cause the performance degradation of a component.

[0009] The xenon (Xe) which is gas is cooled in ordinary temperature, the thing which the pellet type with a diameter of about 100 micrometers was made to solidify is hammered out in a vacuum housing, and the attempt

which irradiates laser light at this is also performed. Although a part of pellet is rapidly heated by the exposure of laser light and being evaporated at this time, most breaks in pieces with the impulse wave by expansion of the plasma, and disperses around as a solid wafer. Although it is not connected with degradation of a component since the evaporated xenon gas does not adhere on an optical element, the wafer on a solid-state may collide with an optical element, and may give a fatal damage.

[0010] Moreover, the xenon (Xe) which is a gas is blown off from a nozzle in ordinary temperature, and the attempt which irradiates laser light at this is also performed. However, since a matter consistency diffuses rapidly around the gas which was emitted into the vacuum in addition to the small thing [since the gas is used for a target ingredient / the case of a solid-state or a liquid], it decreases rapidly as the distance from a nozzle leaves the consistency of the target matter. For this reason, if it is going to raise X-ray intensity, it is necessary to condense laser light near [where a consistency is high] the nozzle. Then, the distance at a plasma production location and the tip of a nozzle becomes short, a result which deletes a nozzle as mentioned above is brought, and the engine performance of an X-ray optics component is degraded.

[0011]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] As explained above, while the target ingredient and the scattering particle of a nozzle collided with the X-ray optics component or prevented adhering in the Prior art, LPX which it continues [LPX] and generates a strong X-ray at a long period of time was not put in practical use.

[0012] Even if this invention was made in view of such a situation, can continue and can generate a strong X-ray at a long period of time, and you cover a long time and you moreover continue generating an X-ray, let it be a technical problem to offer LPX which breakage or degradation of an X-ray optics component do not generate by the scattering particle from a target. Moreover, let it be a technical problem to offer LPX which simplifies the configuration of a nozzle and the synchronization with a target and a laser light exposure tends to take.

[0013]

[Means for Solving the Problem] the target ingredient concerned be plasma-ize, and the 1st means for solving said technical problem be an X-ray generator make to generate an X-ray, be more liquefied than the plasma concerned, and be an X-ray generator (claim 1) characterize by being breathe out more nearly continuously than a delivery or intermittently by irradiating laser light at the target ingredient placed into the container exhausted by the vacuum. [of the gestalt of said target ingredient]

[0014] In this means, by making a target ingredient liquid, since the consistency of the target matter is higher than a gas and close to a solid-state consistency, the plasma of high density can be generated, and X-ray intensity can be made high. Moreover, supply of a target ingredient becomes easy, is stabilized for a long time, and can use LPX continuously. Furthermore, in this means, since a liquefied target is spouted continuously or intermittently, it compares like a conventional liquid drop-like label, is easy to take the synchronization of laser radiation with a target, and can irradiate in label exactly. In addition, in this means, since a delivery and a laser light exposure location can be detached, it is rare to delete a delivery and its edge strip with ion, an atom, etc. which were emitted from the plasma, for these to serve as a scattering particle, to adhere and deposit on an optical element, and to degrade the engine performance of an optical element. In addition, a target ingredient may be liquefied in ordinary temperature, and may be an object which becomes liquefied heating and by cooling.

[0015] In here, the intermittence only whose time amount of extent corresponding to the irradiation time of laser with "it is intermittent" is extent from which the liquefied target is blowing off is shown. On the other hand, ***** is emitted at spacing shorter than exposure spacing of laser for whether your being Haruka, and the conventional ***** does not become the thing in this means currently emitted "intermittently." As an approach of carrying out the regurgitation of the target matter intermittently, there is the approach of controlling the regurgitation by closing motion of an electro-magnetic valve, for example. In this case, what is necessary is to make an electro-magnetic valve open just before the exposure of laser, and just to let an electro-magnetic valve be close after laser radiation termination.

[0016] If the regurgitation of the target ingredient is continuously carried out when the matter with high vapor pressure is used as a target ingredient, it evaporates, the target matter, i.e., the target matter currently breathed out vainly, which cannot irradiate laser, and the pressure in a vacuum housing goes up and is not desirable. Therefore, in such a case, especially the thing intermittently done for the regurgitation of the target matter is important.

[0017] The 2nd means for solving said technical problem by irradiating laser light at the target ingredient placed into the container exhausted by the vacuum It is the X-ray generator which plasma-izes the target ingredient concerned and is made to generate an X-ray from the plasma concerned. The gestalt of said target ingredient is powdered and the target ingredient of the shape of this powder is the X-ray generator (claim 2) characterized by being spread in a solution and breathing out the turbidity liquid concerned more nearly continuously than a delivery or intermittently.

[0018] This means is suitable to the target ingredient which cannot do a configuration with the shape of a tape. The easiest approach of using a target ingredient continuously is making the configuration of the target matter into the shape of a tape. If laser light is irradiated rolling round a tape-like target ingredient, generating an X-ray can be continued for a long time. Moreover, by that to which the thickness of a target ingredient becomes thin by considering as the shape of a tape (for example, several micrometers - dozens of micrometers), since most scattering particles run in the direction of a target rear face, there is also a merit that the scattering particle weight emitted in the direction of a target front face (laser light direction of radiation) can be reduced.

[0019] However, there is also an object with it difficult [to form in the shape of a tape depending on the class of target ingredient]. For example, boron nitride (BN), the ceramics of B₄C and SiC and ZrO₂ grade, and SiO₂ grade are such target ingredients. However, it is easy to make such an ingredient into the shape of powder. Therefore, if carry out disintegration of these ingredients, diffuse a powder-like target member in a solution (mixing), this turbidity liquid is made to breathe out more nearly continuously than a delivery or intermittently and laser light is irradiated at this liquid column, -izing of the powder-like target ingredient can be carried out [plasma], and the X-ray from a target ingredient can be used.

[0020] As a solution, if the liquid of inorganic substances, such as a liquid of the organic substance, such as water, alcohol, and oil, and ammonia, etc. is the thing of the liquid phase, they can use it for anythings, choosing suitably. Moreover, as for the magnitude of a powder-like target member, it is [that what is necessary is just smaller than a delivery] desirable that it is dozens of nm - about dozens of micrometers in general.

[0021] Although an X-ray is emitted also from the solution matter by the exposure of laser light in order to also plasma-ize a solution, these X-rays can be easily removed by using a filter and a multilayers mirror. For example, the case where the Lyman alpha rays (wavelength of 4.8nm) emitted from B ion are used, using BN as a powder-like target ingredient using the diffusion pump oil (alkyl system oil) of an organic system as a solution is considered. If laser light is irradiated at this BN turbidity liquid, the X-ray from ion, such as C, O, and N, will be emitted from the diffusion pump oil which is a solution, and the X-ray from B and N ion will be emitted from BN, the wavelength of 4.5nm which is carbonaceous K absorption end when a carbonaceous thin film (2 micrometers in for example, thickness) is used as an X-ray filter at this time - the X-ray of short wavelength - large - decreasing - the absorption end - a long wave - only merit's X-ray penetrates. Since each X-ray from ion, such as C, O, and N, is short wavelength, it is cut with a carbon filter and can take out the Lyman alpha rays of B from 4.5nm as a result. Also in this means, the semantics of "being intermittent" is the same as said 1st means.

[0022] The 3rd means for solving said technical problem is said the 1st means or 2nd means, and is characterized by the spray velocity of a target ingredient being at least 50 or more m/sec (claim 3).

[0023] Although the emission rate of the big scattering particle of particle size is based also on laser light exposure conditions or a target ingredient, since it is 102 - 103 m/sec extent, 50 or more m/sec, then the emission direction of a scattering particle will change the sense into the liquefied label-downstream for the liquefied label-spray velocity. Therefore, since a scattering particle liquid drop-like in the liquefied target upstream decreases, if an X-ray optics component is arranged in this location, the damage to the optical element by these scattering particle can be reduced.

[0024] The 4th means for solving said technical problem is either of said 1st means to the 3rd means, and it is characterized by a liquefied target or turbidity liquid being the metal of the dissolved liquid phase (claim 4).

[0025] As a liquefied target or turbidity liquid, like zinc, lead, and tin, it is a solid-state and what becomes liquefied is used by heating in ordinary temperature in this means. If it is zinc, it is 419.58 degrees C or more and lead, it is 327.5 degrees C or more and tin and it will heat at 231.97 degrees C or more, it can be made the shape of a liquid. It comes to be able to carry out long duration use by doing in this way rather than the time of using these target ingredients as a solid-state (for example, it being disc-like).

[0026] The 5th means for solving said technical problem is said 4th means, and it is characterized by the metal of the liquid phase by which melting was carried out being an ingredient containing tin (Sn) or tin (Sn) (claim 5).

[0027] Since tin (Sn) has the peak of a spectrum near the wavelength of 13nm, the matter containing tin fits the target ingredient of X line source for soft-X-ray contraction lithography which uses the wavelength of 13nm. Moreover, the melting point can make tin the shape of a liquid easily comparatively low (231.97 degrees C). Moreover, since maximum vapor tension is low and it is hard to evaporate also in a vacuum, it does not adhere and deposit on an optical element. For example, even if it is near liquid 560 degree C, the maximum vapor tension is about ten to 11 Torr extent, and is low enough compared with the typical degree of vacuum (several Torr - 10-6Torr) used as LPX.

[0028] Moreover, in this means, the metallic material of the liquid phase by which melting was carried out may be the alloy and compound containing tin. For example, although a pewter is the alloy of tin and lead, Sn 60% and Pb 40% of case, the melting point is lower than the case of 183 degrees C and pure tin, and it is easy to make it liquefied. Moreover, like tin, it also sets at about 260 degrees C, and 10-11Torr and since it is very low, leaden vapor pressure is not adhered and deposited on an optical element, either.

[0029] The 6th means for solving said technical problem is either of said 1st means to the 3rd means, and it is characterized by a liquefied target or turbidity liquid being the cooled liquefied gas (claim 6).

[0030] For example, although N₂, CO₂, Kr, Xe, etc. are gases in ordinary temperature, they can be made liquefied by cooling. If it is for -209.86 degrees C - -195.8 degrees C in the case of N₂, it will become liquefied, and in the case of CO₂, in -56.6 degrees C - -78.5 degrees C and Kr, if it is -111.9 degrees C - -108.1 degrees C, in the case of -156.6 degrees C - -153.4 degrees C and Xe, it will become with a liquid. If the target ingredient of the shape of such a liquid is used, when [at which it was shown in the precedent] it cools and is made a solid pellet type, the fragment which poses a problem will not arise, and damage will not be done to an optical element.

[0031] The 7th means for solving said technical problem is said 6th means, and it is characterized by the cooled liquefied gas being gas containing rare gas or rare gas (claim 7).

[0032] If rare gas (Ne, Ar, Kr, Xe, Rn) etc. is used as a liquefied gas, since the matter which evaporates the part by which laser radiation was carried out and is used for the optical element does not react chemically, it does

not adhere and deposit on an optical element.

[0033] The 8th means for solving said technical problem is either of said 1st means to the 7th means, and is characterized by providing the circulator style for carrying out the cyclic use of waste water of the matter or turbidity liquid of the liquid phase used as a target ingredient (claim 8).

[0034] If the turbidity liquid containing a target ingredient and a powdered target ingredient is used circulating, since it is necessary to supply neither a target ingredient nor turbidity liquid from the outside, it can be used continuously, and the utilization ratio of equipment can be gathered sharply. Especially, when a target ingredient and turbidity liquid are expensive, the running cost of equipment can be reduced. Circulation of a target ingredient and turbidity liquid is good, and it is made a solid-state or a gas on the way, and you may make it circulate through it as a line with the liquid phase. It is convenient when it is made a solid-state or a gas on the way, and is made to circulate, and using the matter of a solid-state or a gas in ordinary temperature. For example, since it is necessary to make all, such as a circulating pump, into an elevated-temperature specification thing while maintaining the pipe line to an elevated temperature if you are going to make it circulate while it has been liquefied when heating like tin and making it liquefied, a configuration becomes complicated and leads also to a cost rise. In such a case, if it heats and is made to fuse, the circulatory system becomes simple, and before conveying after returning to a solid-state once, and using it as a target, cost can also lower it while dependability goes up.

[0035]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the example of the gestalt of operation of this invention is explained using drawing. Drawing 1 is the schematic diagram showing the gestalt of operation of the 1st of this invention. In drawing 1, in 100, liquefaction target ***** pipes and, in 101, a target ingredient and 102 pipe. In 103, a nozzle and 104 Y stage and 106 for X stage and 105 A Z stage, 107 X stage and 109 for an adjustable aperture and 108 Y stage, 110 — a pipe and 111 — a container and 112 — a bulb and 113 — a container, and 114, 115 and 116 — for an aperture and 119, as for laser light and 121, a vacuum housing and 120 are [a bulb and 117 / a lens and 118 / a leak bulb and 122] the liquid columns of a target ingredient.

[0036] In liquefaction target ***** 100, it is put into the liquid-like target ingredient 101. Here, water (H₂O) is used as a target ingredient. Liquefaction target ***** 100 is connected to the pressurizer (in this case, high-pressure air bomb), and the target ingredient 101 is compressed by the pressure of number atmospheric-pressure — 100 atmospheric-pressure extent. Thereby, after the target ingredient 101 passes along piping 102 and passes feed through, it is spouted from a nozzle 103. Laser light is irradiated at the liquid column 122 of the target ingredient made by blowing off from a nozzle 103, the plasma is generated, and an X-ray is generated.

[0037] Feed through is attached in the X stage 104, the Y stage 105, and Z stage 106, adjusts the location of a nozzle 103, and enables it to generate the plasma to a position. After a target ingredient passes the adjustable aperture 107 and a pipe 110, it is accumulated into a container 111. The inside of a container 111 is decompressed to maximum-vapor-tension extent of a target ingredient by evacuation equipment (not shown). The adjustable aperture 107 is attached in the X stage 108 and the Y stage 109.

[0038] It begins, and after opening of the adjustable aperture 107 being opened by max and determining the location of a nozzle 103, it is made for a target ingredient to pass at the core of an adjustable aperture by the X stage 108 and the Y stage 109, and the path of opening of an adjustable aperture is gradually extracted until it becomes large slightly rather than the path of the liquid column 122 of a target ingredient. By doing in this way, differential pumping can be performed now between a vacuum housing 119 and a container 111.

[0039] If only an amount predetermined in a target ingredient is accumulated into a container 111, a bulb 115 will be opened gradually and the inside of a container 113 will be exhausted. Bulbs 112, 114, and 116 are closed at this time. When the pressure in a container 113 becomes the same as a container 111, the target ingredient which opened the bulb 112 and collected in the container 111 is made to flow into a container 113. Then, when bulbs 112 and 115 are closed, a bulb 116 is opened gradually and the pressure in a container 113 and liquefaction target ***** 100 becomes the same, a bulb 114 is opened and the target ingredient in a container 113 is made to flow into liquefaction target ***** 100. If all target ingredients finish moving, after closing bulbs 116 and 114, opening the leak bulb 121 and decompressing the pressure in a container 113 to an atmospheric pressure, the leak bulb 121 is closed. A target ingredient can be circulated continuously, without interrupting supply in the laser light exposure location of a target ingredient by making it above.

[0040] Since maximum vapor tension is comparatively high, the X-ray generated from the plasma is absorbed by the steam in a vacuum housing, and may decrease the water currently used as a target ingredient here. Therefore, the target ingredient is cooled so that maximum vapor tension may become low as much as possible. Liquefaction target ***** 100, piping 102, the nozzle 103, and the container 111 are cooled by about 1 degree C with the cooling system. The maximum vapor tension of 1-degree C water is about 5 Torr(s). The pressure in a container 111 can decompress the pressure in a vacuum housing 119 to the pressure not more than it, when 5Torr(s) or differential pumping with a container 111 is made to 5Torr extent by cooling a target ingredient.

[0041] What is necessary is just to cover the liquid column 122 section of a target ingredient by the member which prepared opening for the object for laser light incidence, the object for laser light outgoing radiation, and X-ray ejection to lower the pressure in a vacuum housing 119 further. Opening for laser light outgoing radiation is prepared in order to prevent the laser light which did not shine upon a target ingredient at the time of nozzle justification being equivalent to a member, and as long as this does not have the need, there may be. [no]

[0042] The example of the situation near the nozzle of the gestalt of this operation is shown in drawing 2 (a)

and (b). In drawing 2, for transparency laser light, and 124a and 124b, as for laser light incidence opening and 126, a member and 125 are [123 / X-ray ejection opening and 127] laser outgoing radiation openings, and other signs show the same object as drawing 1.

[0043] The surroundings of a liquid column 122 are covered by member 124a which formed the laser light incidence opening 125, the X-ray ejection opening 126, and the laser outgoing radiation opening 127. It has stuck between a nozzle 103 and member 124a, and between member 124a and the adjustable aperture 107, very few clearances have opened and it can change the location of an adjustable aperture now with X and Y stages 108 and 109 (drawing 1). Since the amount which evaporates into a vacuum housing 119 from the liquid column 122 section can be reduced if it does in this way, the pressure in a vacuum housing 119 can be reduced. As long as it is required, you may make it exhaust the inside of member 124a with an exhaustor.

[0044] In the example shown in drawing 2 (b), the perimeter of a liquid column 122 is covered by member 124b like drawing 2 (a), and the interior of member 124b can be exhausted now (not shown [the exhaustor]).

[0045] When the paths of opening of a nozzle 103 are 200 micrometers and back pressure 35 atmospheric pressure with the gestalt of these operations, as for the rate of flow of a target ingredient, about 64 m/sec is obtained. Moreover, when nozzle open aperture is 100 micrometers and back pressure is 100 atmospheric pressures, the rate of flow of a target ingredient serves as about 150 m/sec. Since the rate of flow of the target matter will exceed 50 m/sec if it does in this way, as stated previously, the direction of elutriation of the big scattering particle of particle size is changeable into the downstream with inertial force.

[0046] Moreover, although it collects in the state of a liquid and is made to circulate with the gestalt of above-mentioned operation, solid-state **** may be changed into a gaseous condition, and may once be collected and circulated so that the gestalt of the following operations may describe. Although water is used as target matter with the gestalt of above-mentioned operation, it does not restrict to this. Although water is a liquid in ordinary temperature, you may be the matter which serves as a liquid by heating or cooling, for example like tin or a krypton. What is necessary is just to heat by heating to the temperature which liquefies a container, a piping nozzle, a container, and a container in the case of the matter used as a liquid. Moreover, what is necessary is just to cool to the temperature which liquefies a container, a piping nozzle, a container, and a container in the case of the matter cooled and liquefied.

[0047] In the gestalt of this operation, although water with comparatively high vapor pressure is used for the target ingredient, if the matter with low vapor pressure is used in ordinary temperature, since it is not necessary to use a differential-pumping system as mentioned above, the configuration of equipment becomes easier. As such an ingredient, there are oil for diffusion pumps, oil for rotary pumps, etc.

[0048] The outline of the gestalt of operation of the 2nd of this invention is shown in drawing 3. In drawing 3, in 300, liquefaction target ***** pipes and, in 301, a target ingredient and 302 pipe. In 303, a nozzle and 304 Y stage and 306 for X stage and 305 A Z stage, In 307, a pipe and 308 a propeller and 310 for a motor and 309 A spiral fin, 311 — a container and 312 — a bulb and 313 — a container, and 314, 315 and 316 — for an aperture and 319, as for laser light and 321, a vacuum housing and 320 are [a bulb and 317 / a lens and 318 / a leak bulb and 322] the liquid columns of a target ingredient.

[0049] With the gestalt of this operation, Sn is used as a target ingredient. Once it makes it a solid-state, it is made to circulate with the gestalt of this operation in the gestalt of the 1st operation, although it was made to circulate with the condition of a liquid even if it was the matter which heated or cools and serves as a liquid. Since the part heated or cooled by doing in this way decreases, an equipment configuration becomes easy. With the gestalt of this operation, since it is almost the same as the gestalt of the 1st operation, an equipment configuration explains in detail only a different place shown in drawing 1.

[0050] It is put into Sn which is the target ingredient 301 into liquefaction target ***** 300, and liquefaction target ***** 300 is heated to the temperature which Sn liquefies (for example, 300 degrees C). It is heated to the temperature to which Sn liquefies piping 302 and a nozzle 303 similarly. Liquefied Sn is pressurized with compression nitrogen, and through piping 302, while it has been a liquid, it blows off from a nozzle 303. The laser light 320 is irradiated by the liquid column 322 of Sn which blew off in the vacuum housing 319, and an X-ray is radiated.

[0051] Although liquefied Sn enters in a container 311 through a pipe 307, it scatters by hitting the propeller 309 currently rotated by the motor 308, and collides with the wall of a container 311, and the spiral fin 310 attached in 311 in a container. Since the container 311 and the fin 310 are fully cooled by low temperature (for example, 10 degrees C) rather than the melting point of Sn with cooling water etc., it is cooled immediately and the drop of Sn which collided with container 311 wall or the fin 310 serves as a solid particle. The particle of this solid-state falls rolling a fin 310 top, and the bottom of a container 311 is covered with it. If only a predetermined amount collects, the particle of Sn will open a bulb 315, and will exhaust the inside of a container 313, and it will be made to become the almost same pressure as a vacuum housing 319. Then, the particle of Sn with which opened the bulb 312 and the container 311 was covered is dropped in a container 313.

[0052] Then, after shutting bulbs 312 and 315, opening a bulb 316 gradually and making the same the pressure in a container 313 and liquefaction target ***** 300, a bulb 314 is opened and the particle of Sn is dropped from a container 313 to liquefaction target ***** 300. If all Sn finishes moving, after closing bulbs 314 and 316, opening the leak bulb 321 and decompressing the pressure in a container 313 to an atmospheric pressure, the leak bulb 321 is closed. Sn particle which fell in liquefaction target ***** 300 is heated, becomes liquid-like, and blows off from a nozzle 303 again.

[0053] As stated previously, Sn of an about 300-degree C liquid has low maximum vapor tension, and since solid Sn is stored in a container 311, compared with Sn of a liquid, vapor pressure becomes still lower. For this reason, since it is not necessary to put in and carry out differential pumping of the aperture between a vacuum housing 319 and a container 311 like the gestalt of the 1st operation, the configuration of equipment becomes simpler.

[0054] The outline of the gestalt of operation of the 3rd of this invention is shown in drawing 4. In drawing 4 liquefaction target ***** and 401 400 A target ingredient. In 403, a nozzle and 404 Y stage and 406 for X stage and 405 A Z stage. In 407, a pipe and 408 a propeller and 410 for a motor and 409 A spiral fin. In 411, a container and 412 a container, and 414 and 415 for a bulb and 413 A bulb, 416 — a leak bulb and 417 — a band conveyor and 418 — a saucer, and 419, 420 and 421 — a bulb and 422 — for an aperture and 425, as for the liquid column of a target ingredient, and 427, laser light and 426 are [a leak bulb and 423 / a lens and 424 / a vacuum housing and 428] containers.

[0055] Although it was made to move to liquefaction target ingredient ***** 300 by dropping the target ingredient which is shown in drawing 3 and which was solidified with the gestalt of the 2nd operation, with the gestalt of this operation, it is carrying to liquefaction target ***** 400 on the band conveyor 417. Since liquefaction target ***** 300 can be arranged near the nozzle 403 by doing in this way, it becomes unnecessary to heat long piping from liquefaction target ***** to a nozzle like the gestalt of the 2nd operation.

[0056] With the gestalt of this operation, Sn is used as a target ingredient like the gestalt of the 2nd operation. Sn is heated by about 300 degrees C and stored in liquefaction target ***** 400 in the condition of having liquefied. Liquefied Sn401 is pressurized with compression nitrogen, and blows off from the nozzle 403 currently similarly heated by about 300 degrees C with a liquid. The laser light 425 is irradiated by the liquid column 426 of Sn which blew off in the vacuum housing 427, and an X-ray is radiated. It enters in a container 411 through a pipe 407, and is solidified like the gestalt of the 2nd operation, and liquefied Sn is accumulated into a container 411 as a particle of Sn.

[0057] If Sn particle of a predetermined amount is accumulated, a bulb 414 is opened, the inside of a container 413 will be exhausted to a pressure comparable as the inside of a vacuum housing 427, a bulb 412 will be opened after that, and the particle of Sn will be dropped in a container 413.

[0058] Then, bulbs 412 and 414 are shut, and after opening the leak bulb 416 and returning the inside of a container 413 to an atmospheric pressure, Sn particle which opens a bulb 415 and is in a container 413 is moved to a band conveyor 417. Sn particle is moved to a saucer 418 on a band conveyor 417. If a saucer 418 is covered to some extent, a bulb 419 will be opened and Sn particle will be slushed in a container 428. (At this time, the inside of a container 428 has atmospheric pressure.)

Then, a bulb 421 is opened gradually and a bulb 419 is made for the pressure in a container 428 and liquefaction target ***** 400 to become the same in total. And a bulb 420 is opened, liquefaction target ***** 400 is dropped, it liquefies, and Sn particle is again used as a target ingredient.

[0059] If it does in this way, liquefaction target ***** 400 can be placed near the vacuum housing 427, and the die length of piping to the feed through of liquefaction target ***** 400 and a vacuum housing 427 can be shortened. For this reason, since the member which must be heated can be summarized to near, the configuration of equipment becomes easy.

[0060] Although the target ingredient solidified on the band conveyor 417 placed into atmospheric air is conveyed with the gestalt of this operation, this transportation may be performed in a vacuum. Although Sn was used as a target ingredient with the gestalt of the 2nd and the 3rd operation, you may be not only this but what kind of matter, may be single elements, such as Sn and Zn, and may be alloys and compounds, such as a pewter. Although the target matter which serves as a liquid by heating was used with the gestalt of the 2nd and the 3rd operation, you may be the matter used as a liquid by cooling.

[0061] The outline of the gestalt of operation of the 4th of this invention is shown in drawing 5. In drawing 5, in 500, liquefaction target ***** pipes and, in 501, a target ingredient and 502 pipe. In 503, a nozzle and 504 Y stage and 506 for X stage and 505 A Z stage. In 507, a pipe and 508 a propeller and 510 for a motor and 509 A spiral fin, 511 — a container and 512 — a bulb and 513 — a container, and 514, 515 and 516 — for an aperture and 519, as for laser light and 521, a vacuum housing and 520 are [a bulb and 517 / a lens and 518 / a leak bulb and 522] the liquid columns of a target ingredient.

[0062] With the gestalt of this operation, Kr (krypton) is used as a target ingredient. Kr is introduced into liquefaction target ***** 500, and it is in it. Liquefaction target ***** 500 is controlled to become -156.6 degrees C — -153.4 degrees C which Kr liquefies with a cooling system (un-illustrating), and Kr is stored in liquefaction target ***** 500 in the state of the liquid. It is cooled to the temperature to which Kr liquefies piping 502 and a nozzle 503 similarly. Liquefied Kr is pressurized with compression nitrogen, and through piping 502, while it has been a liquid, it blows off from a nozzle 503. The laser light 520 is irradiated by the liquid column 522 of Kr which blew off in the vacuum housing 519, and an X-ray is radiated.

[0063] Although liquefied Kr enters in a container 511 through a pipe 507, it collides with the spiral fin 510 which scatters by hitting the propeller 509 currently rotated by the motor 508, and is attached in the wall of a container 511, or the container. Since the container 511 and the fin 510 are fully cooled by low temperature (for example, -209 degrees C) rather than the melting point of Kr by liquid nitrogen etc., it is cooled immediately and the drop of Kr which collided with container 511 wall or the fin 510 serves as a solid particle.

[0064] The particle of this solid-state falls rolling a fin top, and the bottom of a container 511 is covered with

it. If only a predetermined amount collects, the particle of Kr will open a bulb 515, and will exhaust the inside of a container 513, and it will be made to become the almost same pressure as a vacuum housing 519. Then, the particle of Kr with which opened the bulb 512 and the container 511 was covered is dropped in a container 513. It is fully cooled by low temperature (for example, -209 degrees C) rather than the melting point of Kr by liquid nitrogen etc. like [a container 513] the container 511.

[0065] Then, after shutting bulbs 512 and 515, opening a bulb 516 gradually and making the same the pressure in a container 513 and liquefaction target ***** 500, a bulb 514 is opened and the particle of Kr is dropped from a container 513 to liquefaction target ***** 500. If all Kr(s) finish moving, after closing bulbs 514 and 516, opening the leak bulb 521 and decompressing the pressure in a container 513 to atmospheric-pressure extent, the leak bulb 521 is closed. Kr particle which fell in liquefaction target ***** 500 becomes liquid-like, and blows off from a nozzle 503 again.

[0066] What is necessary is just to perform migration in the container of the next step, after making it the shape of the shape of a particle, and a grain aggregate by a certain churning and the grinder style, when Kr particle stored within the container 511 or the container 513 adheres mutually, suits and serves as a big lump. Although it is made to circulate to liquefaction target ***** 500 where the collected target ingredient (Kr) is solidified, you may make it circulate in the state of a gas with the gestalt of the 4th operation.

[0067] The outline of the gestalt of operation of the 5th of this invention is shown in drawing 6. drawing 6 — setting — 600 — liquefaction target ***** and 601 — a target ingredient and 602 — piping and 603 — a nozzle and 604 — X stage and 605 — Y stage and 606 — a Z stage and 607 — a pipe and 608 — a motor and 609 — a propeller and 610 — a spiral fin and 611 — a container and 612 — a bulb and 613 — for a vacuum housing and 617, as for a lens and 619, laser light and 618 are [a container, and 614 and 615 / a bulb and 616 / an aperture and 622 the liquid columns of a target ingredient.

[0068] Also in the gestalt of this operation, Kr (krypton) is used as a target ingredient. Kr is introduced into liquefaction target ***** 600, and it is in it. Liquefaction target ***** 600 is controlled to become -156.6 degrees C - -153.4 degrees C which Kr liquefies with a cooling system (un-illustrating), and Kr is stored in liquefaction target ***** in the state of the liquid. It is cooled to the temperature to which Kr liquefies a nozzle 603 similarly. Liquefied Kr is pressurized with compression nitrogen and blows off from a nozzle 603 with a liquid. The laser light 617 is irradiated by the liquid column 622 of Kr which blew off in the vacuum housing 616, and an X-ray is radiated. Although liquefied Kr enters in a container 611 through a pipe 607, it scatters by hitting the propeller 609 currently rotated by the motor 608, and collides with the spiral fin 610 attached in the wall of a container 611, or the container.

[0069] Since the container 611 and the fin 610 are fully cooled by low temperature (for example, -209 degrees C) rather than the melting point of Kr by liquid nitrogen etc., it is cooled immediately and the drop of Kr which collided with container 611 wall or the fin 610 serves as a solid particle. The particle of this solid-state falls rolling a fin top, and the bottom of a container is covered with it.

[0070] If only a predetermined amount collects, the particle of Kr will open a bulb 614, and will exhaust the inside of a container 613, and it will be made to become the almost same pressure as a vacuum housing 616. Then, the particle of Kr with which opened the bulb 612 and the container 611 was covered is dropped in a container 613. And after shutting bulbs 612 and 614, the particle of the solid-state Kr which heated the container 613 and has accumulated in the container 613 is made to evaporate.

[0071] When the pressure of Kr used as a gas becomes higher than the pressure of the nitrogen gas which is pressurizing the inside of liquefaction target ***** 600, a bulb 615 is opened gradually and evaporated Kr is made to flow in liquefaction target ***** 600. It is cooled again, and Kr gas which flowed serves as a liquid, and blows off from a nozzle.

[0072] What is necessary is to prepare the container for making evaporated Kr liquefy or solidify, and just to once introduce in liquefaction target ***** 600, after making it a liquid or a solid-state when it is difficult for the pressure of the nitrogen gas currently pressurized to make higher than the pressure of nitrogen gas Kr evaporated very highly (for example, several 10 atmospheric pressures - 100 atmospheric-pressure extent).

[0073] What is necessary is just to perform migration in the container of the next step, after making it the shape of the shape of a particle, and a grain aggregate by a certain churning and the grinder style, when Kr particle stored within the container 611 (or container which solidifies Kr gas evaporated if) adheres mutually, suits and serves as a big lump.

[0074] In addition, although Liquefaction Kr is pressurized with compression nitrogen and it is made to blow off from a nozzle with the gestalt of this operation, Liquefaction Kr may be pressurized and may be made to blow off using Kr made to evaporate. Thus, if it is made to circulate in the condition of having evaporated, the distance of liquefaction target ***** and a nozzle will be brought close. For this reason, the member controlled to liquefaction temperature serves as only short piping of liquefaction target ***** , a nozzle, and the meantime, and since it is not necessary to control long piping which connects liquefaction target ***** and a nozzle like the gestalt of the 4th operation to liquefaction temperature, an equipment configuration becomes easy.

[0075] In the gestalt of the 4th and the 5th operation, although Kr was used as a target ingredient, as long as it is the matter which serves as a liquid by being a gas and cooling not only in Kr but in ordinary temperature, what kind of thing is sufficient as Xe, CO₂, N₂, etc.

[0076] Although the target ingredient of the liquid phase was used, a powder-like target ingredient may be mixed into a solution and you may make it blow off from a nozzle as turbidity liquid with the gestalt of above-

mentioned operation. In this case, a solution may be a liquid in ordinary temperature and may serve as the liquid phase by heating or cooling. Moreover, as a powder-like target ingredient, organic particles, such as ceramics of BN, B₄C and SiC, and ZrO₂ grade, and metal particles, such as SiO₂, or Fe, Cu, aluminum, Sn, a latex, etc. are needed.

[0077] In the gestalt of each above operation, although the diameter of condensing in the target ingredient location of laser light is arbitrary, since ablation will happen in the direction of the diameter of said of the liquid column of a target ingredient, and it is lost that the big scattering particle of particle size is emitted in the direction of a right angle to flow, it is [comparable as the path of the liquid column section of a target ingredient or / be / it / if / it is made larger than it,] desirable. Moreover, although the target ingredient was made to blow off from a nozzle continuously, you may make it blow off intermittently with the gestalt of each above operation. This is suitable when the repeat frequency of luminescence of laser is low (a metaphor is several 10Hz or less). Moreover, with the gestalt of each above operation, although high pressure gas is used as a pressurizer of a target ingredient, a pressurizer is arbitrary, is good and may be pressurized with a compressor, a pump (for example, gear pump), etc.

[0078]

[Effect of the Invention] As explained above, in invention which relates to claim 1 among this inventions, the gestalt of a target ingredient is liquefied, since it is breathed out more nearly continuously than a delivery or intermittently, since the consistency of the target matter is higher than a gas and close to a solid-state consistency, the plasma of high density can be generated, and X-ray intensity can be made high. Moreover, supply of a target ingredient becomes easy, is stabilized for a long time, and can use LPX continuously. Furthermore, since a liquefied target is spouted continuously or intermittently, it is easy to take the synchronization of laser radiation with a target, and can irradiate in label exactly. In addition, since a delivery and a laser light exposure location can be detached, it is rare to delete a delivery and its edge strip with ion, an atom, etc. which were emitted from the plasma, for these to serve as a scattering particle, to adhere and deposit on an optical element, and to degrade the engine performance of an optical element.

[0079] In invention concerning claim 2, it becomes possible by mixing into a solution as powdered and irradiating laser light at this turbidity liquid to generate an X-ray also of the matter which is not processible in the shape of a tape continuously for a long time.

[0080] In invention concerning claim 3, since the spray velocity of a target ingredient or turbidity liquid is at least 50 or more m/sec, a liquid drop-like scattering particle decreases by the liquefied target upstream. Therefore, if an X-ray optics component is arranged in this location, the damage to the optical element by these scattering particle can be reduced.

[0081] In invention concerning claim 4, by using the metal of the dissolved liquid phase as a target member, a long time can be covered and an X-ray can be continuously generated rather than the time of using these as a solid-state.

[0082] In invention concerning claim 5, since the metallic material of the liquid phase by which melting was carried out is an ingredient containing tin (Sn) or tin (Sn), it fits the target ingredient of X line source for soft-X-ray contraction lithography using the wavelength of 13nm. Moreover, since the melting point can make tin the shape of a liquid easily comparatively low, and maximum vapor tension is low and it cannot evaporate easily in a vacuum, it is not adhered and deposited on an optical element.

[0083] In invention concerning claim 6, since a liquefied target or turbidity liquid is the cooled liquefied gas, when it cools and is made a solid pellet type, the fragment which poses a problem does not arise and damage is not done to an optical element.

[0084] In invention concerning claim 7, since the cooled liquefied gas is gas containing rare gas or rare gas, the part by which laser radiation was carried out is evaporated and the matter currently used for the optical element does not react chemically. Therefore, it does not adhere and deposit on an optical element.

[0085] In invention concerning claim 8, since the circulator style for carrying out the cyclic use of waste water of the matter or turbidity liquid of the liquid phase used as a target ingredient is provided, it is not necessary to supply a target ingredient from the outside, and can be used continuously, and the utilization ratio of equipment can be gathered sharply.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is drawing showing the outline of the gestalt of operation of the 1st of this invention.

[Drawing 2] It is drawing showing the structure near the nozzle of the gestalt of operation shown in drawing 1.

[Drawing 3] It is drawing showing the outline of the gestalt of operation of the 2nd of this invention.

[Drawing 4] It is drawing showing the outline of the gestalt of operation of the 3rd of this invention.

[Drawing 5] It is drawing showing the outline of the gestalt of operation of the 4th of this invention.

[Drawing 6] It is drawing showing the outline of the gestalt of operation of the 5th of this invention.

[Description of Notations]

100 [— Nozzle,] — Liquefaction target *****, 101 — A target ingredient, 102 — Piping, 103 104 [— Adjustable aperture,] — X stage, 105 — Y stage, 106 — A Z stage, 107 108 [— Container,] — X stage, 109 — Y stage, 110 — A pipe, 111 112 — A bulb, 113 — A container, 114, 115, 116 — Bulb, 117 [— Laser light,] — A lens, 118 — An aperture, 119 — A vacuum housing, 120 121 — A leak bulb, 122 — The liquid column of a target ingredient, 123 — Transparency laser light, 124a, 124b — A member, 125 — Laser light incidence opening, 126 — X-ray ejection opening, 127 — Laser outgoing radiation opening, 300 — Liquefaction target *****, 301 — Target ingredient, 302 [— Y stage,] — Piping, 303 — A nozzle, 304 — X stage, 305 306 [— Propeller,] — A Z stage, 307 — A pipe, 308 — A motor, 309 310 [— Container,] — A spiral fin, 311 — A container, 312 — A bulb, 313 314, 315, 316 [— Vacuum housing,] — A bulb, 317 — A lens, 318 — An aperture, 319 320 — Laser light, 321 — A leak bulb, 322 — The liquid column of a target ingredient, 400 [— X stage,] — Liquefaction target *****, 401 — A target ingredient, 403 — A nozzle, 404 405 [— Motor,] — Y stage, 406 — A Z stage, 407 — A pipe, 408 409 [— Bulb,] — A propeller, 410 — A spiral fin, 411 — A container, 412 413 [— Band conveyor,] — 414 A container, 415 — A bulb, 416 — A leak bulb, 417 418 — A saucer, 419, 420, 421 — A bulb, 422 — Leak bulb, 423 [— The liquid column of a target ingredient,] — A lens, 424 — An aperture, 425 — Laser light, 426 427 [— Target ingredient,] — A vacuum housing, 428 — A container, 500 — Liquefaction target *****, 501 502 [— Y stage,] — Piping, 503 — A nozzle, 504 — X stage, 505 506 [— Propeller,] — A Z stage, 507 — A pipe, 508 — A motor, 509 510 [— Container,] — A spiral fin, 511 — A container, 512 — A bulb, 513 514, 515, 516 [— Vacuum housing,] — A bulb, 517 — A lens, 518 — An aperture, 519 520 — Laser light, 521 — A leak bulb, 522 — The liquid column of a target ingredient, 600 [— Nozzle,] — Liquefaction target *****, 601 — A target ingredient, 602 — Piping, 603 604 [— Pipe,] — X stage, 605 — Y stage, 606 — A Z stage, 607 608 [— A container, 612 / — A bulb, 613 / — 614 A container, 615 / — A bulb, 616 / — A vacuum housing, 617 / — Laser light, 618 / — A lens, 619 / — An aperture, 622 / — Liquid column of a target ingredient] — A motor, 609 — A propeller, 610 — A spiral fin, 611

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-91095
(P2000-91095A)

(43) 公開日 平成12年3月31日 (2000.3.31)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード (参考)
H 0 5 G 2/00		H 0 5 G 1/00	K 4 C 0 9 2
G 2 1 K 5/02		G 2 1 K 5/02	X
H 0 5 H 1/24		H 0 5 H 1/24	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平10-259055

(22) 出願日 平成10年9月14日 (1998.9.14)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 近藤 洋行

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 神高 典明

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 100094846

弁理士 細江 利昭

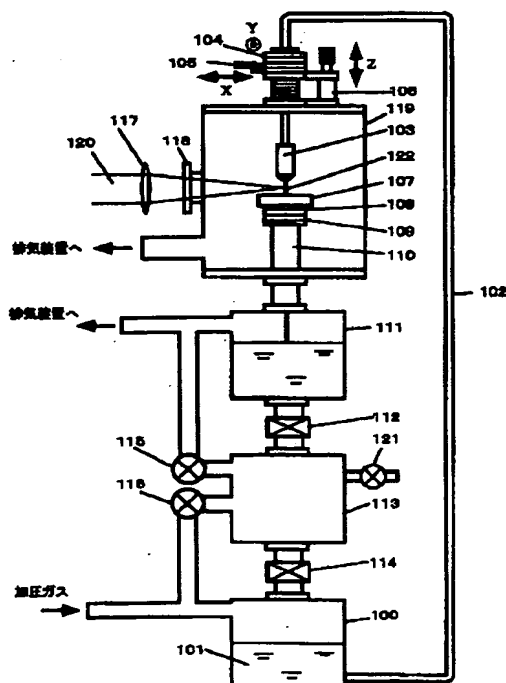
Fターム (参考) 4C092 AA06 AA15 AB21 AC08 AC09

(54) 【発明の名称】 X線発生装置

(57) 【要約】

【課題】 強度のX線を長期間に亘って発生させても、ターゲットからの飛散粒子によりX線光学素子の破損や劣化が発生しないL P Xを提供する。

【解決手段】 液化標的溜まり100中の標的材料101は、配管102を通り、フィードスルーを通過した後、ノズル103より噴出する。ノズル103から噴出されてできた標的材料の液柱122にレーザー光を照射しプラズマを生成してX線が発生させる。標的材料は可変アパーチャー107及びパイプ110を通過した後、容器111内に蓄積される。その後、各バルブを使用した均圧操作を経て、容器113を介して再び液化標的溜まり100に戻されて循環使用される。ノズル103から噴出される標的材料は、連続的に噴出されるようにしてもよいし、間欠的に噴出されるようにしてもよい。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 真空中に排気された容器の中に置かれた標的材料にレーザー光を照射することにより、当該標的材料をプラズマ化し、当該プラズマよりX線を発生させるX線発生装置であって、前記標的材料の形態が液状であり、吐出口より連続的又は間欠的に吐出されることを特徴とするX線発生装置。

【請求項2】 真空中に排気された容器の中に置かれた標的材料にレーザー光を照射することにより、当該標的材料をプラズマ化し、当該プラズマよりX線を発生させるX線発生装置であって、前記標的材料の形態が粉末状であり、この粉末状の標的材料が溶液中に拡散され、当該混濁液が吐出口より連続的又は間欠的に吐出されることを特徴とするX線発生装置。

【請求項3】 請求項1又は請求項2に記載のX線発生装置であって、前記標的材料又は前記混濁液の噴出速度が少なくとも50m/sec以上であることを特徴とするX線発生装置。

【請求項4】 請求項1から請求項3のうちいずれか1項に記載のX線発生装置であって、前記液状標的又は前記混濁液が、溶解された液相の金属であることを特徴とするX線発生装置。

【請求項5】 請求項4に記載のX線発生装置であって、前記熔融された液相の金属が、錫(Sn)あるいは鉛(Pb)を含む材料であることを特徴とするX線発生装置。

【請求項6】 請求項1から請求項3のうちいずれか1項に記載のX線発生装置であって、前記液状標的又は前記混濁液が、冷却された液化ガスであることを特徴とするX線発生装置。

【請求項7】 請求項6に記載のX線発生装置であって、前記冷却された液化ガスが、希ガス又は重ガスを含むガスであることを特徴とするX線発生装置。

【請求項8】 請求項1から請求項7のうちいずれか1項に記載のX線発生装置であって、標的材料として使用される液相の物質又は前記混濁液を循環使用するための循環機構を具備したことを特徴とするX線発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、X線顕微鏡、X線分析装置、X線露光装置などの、X線機器に使用されるX線源として用いるのに好適なX線発生装置に関するものであり、さらに詳しくは、レーザー光を標的材料上に照射することにより、当該標的材料をプラズマ化し、当該プラズマよりX線を発生させるX線発生装置（以下では、レーザープラズマX線源、LPXと呼ぶ）に関するものである。

【0002】

【従来の技術】LPXは高輝度でありながら小型であることから、実験室サイズのX線装置（例えば、X線顕微

鏡やX線分析装置など）用の光源として注目されている。また、近年ではX線縮小露光装置用の光源としても注目されている。

【0003】しかしながら、LPXを実用化するにあたっては、プラズマやプラズマ近傍の標的材料から放出される飛散粒子が問題となる。飛散粒子の形状はイオン、原子やクラスター状の極めて小さく軽い粒子のものから、直径数 μm ～数10 μm 程度にまで及び熔融された液滴状のものまで様々である。液滴状の大きく重たい飛散粒子は、X線光学素子に衝突すると光学素子を破損させてしまう。また、原子状の小さな飛散粒子はX線光学素子上に付着堆積し、次第にその性能（反射率や透過率）を低下させてしまう。

【0004】原子状の小さく軽い飛散粒子に対しては、真空容器内にバッファガスを封入し、X線光学素子の周囲をカバーで覆うことにより、光学素子上に付着・堆積する量を著しく低減できる（特開平7-127600号）が、質量の大きな液滴状の飛散粒子がX線光学素子に衝突することは、従来技術では阻止しきれなかった。すなわち、このような液滴状の飛散粒子に対しては機械的にシャッターで遮断するなどの方式が取られているが、液滴状飛散粒子の速度はその重さなどにより分布を持つため、完全には除去することができない。

【0005】また、このような粒径の大きな飛散粒子を除去するため、直径10cm程度の円盤状のターゲット材料を高速（40,000回転/分。円盤の接線方向の速度は約200m/sec）で回転させ、その円周近傍にレーザー光を照射することにより、レーザー照射点近傍から放出された飛散粒子の方向を、円盤の慣性力により回転方向に集中させる試みが行われていた（L. A. Shmaenok et al., Proceedings of the Conf. On Applications of Laser Plasma Radiation II, SPIE 2523, 12-14 July 1995）。

【0006】しかしながら、この方法では、円盤の大きさに限りがあるため、所定のショット数を照射した後にはターゲットを交換しなくてはならないという問題点があった。ターゲットを交換するには、真空容器の真空状態を破らなくてはならないため、LPXを使用している装置の運転を中断する必要があり、効率を著しく低下させる。

【0007】また、ターゲット材料を常温で液体の物質（例えば、アルコールなど）として、ピエゾ素子で振動されているノズルから噴出させ、10 μm 程度の微小液滴列を作り、この液滴にレーザー光を照射する方法も行われている。この方式は、①ターゲットの連続供給が容易にできる、②ターゲット材料の大きさが小さいため、レーザー光を照射された液滴すべてが瞬間的に蒸発するので、粒径の大きな飛散粒子が少ない、という特長があるが、①ノズル振動機構が複雑である、②液滴とレーザー光との同期をとることが難しく、安定してX線を発生させるににくい、という欠点がある。

【0008】液滴とレーザー光との同期をとることが困難であるという問題を解決するため、ノズル出口から液滴が生成されるまでの液柱部分にレーザーを照射する試みも行われているが(L. Malmqvist et al., Rev. Sci. Instrum. 67, 4150 (1996))、一般にこの液柱部分の長さはノズル出口から数mm程度しかない。このため、プラズマ生成位置とノズル先端までの距離が近くなり、プラズマから放出されたターゲット材料のイオンや原子などがノズルに衝突し、ノズル先端部を削り取る。そして、この削り取られた物質がX線光学素子上に付着し、素子の性能劣化を招いてしまう。

【0009】常温でガスであるキセノン(Xe)を冷却し、直径100 μ m程度のペレット状に固化させたものを、真空容器内に打ち出し、これにレーザー光を照射する試みも行われている。このとき、レーザー光の照射により、ペレットの一部は急激に加熱されて気化するが、大部分はプラズマの膨張による衝撃波により粉々に砕け、固体の小片として周囲に飛散していく。気化したキセノンガスは、光学素子上に付着しないので、素子の劣化に結びつくことはないが、固体上の小片が光学素子に衝突し、致命的なダメージを与えることがある。

【0010】また、常温で気体であるキセノン(Xe)をノズルから吹き出し、これにレーザー光を照射する試みも行われている。しかし、ターゲット材料に気体を使用しているため、物質密度が固体や液体の場合に比べて小さいことに加え、真空中に放出された気体は急激に周囲に拡散するため、ターゲット物質の密度はノズルからの距離が離れるに従い急激に減少する。このため、X線強度を上げようとすると密度の高いノズル近傍にレーザー光を集光する必要がある。すると、プラズマ生成位置とノズル先端の距離が短くなり、上述のようにノズルを削る結果となり、X線光学素子の性能を劣化させる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】以上説明したように、従来の技術においては、ターゲット材料やノズルの飛散粒子がX線光学素子に衝突したり付着することを防止しながら、強度のX線を長期間に亘って発生させるLPXは実用化されていなかった。

【0012】本発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、強度のX線を長期間に亘って発生させることができ、しかも、長時間に亘ってX線を発生し続けても、ターゲットからの飛散粒子によりX線光学素子の破損や劣化が発生しないLPXを提供することを課題とする。また、ノズルの構成を単純化し、かつ、ターゲットとレーザー光照射との同期のとりやすいLPXを提供することを課題とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するための第1の手段は、真空中に排気された容器の中に置かれた標的材料にレーザー光を照射することにより、当該標的

材料をプラズマ化し、当該プラズマよりX線を発生させるX線発生装置であって、前記標的材料の形態が液状であり、吐出口より連続的又は間欠的に吐出されることを特徴とするX線発生装置(請求項1)である。

【0014】本手段においては、標的材料を液体状とすることにより、標的物質の密度が気体よりも高く固体密度に近いため高密度のプラズマを生成でき、X線強度を高くすることができる。また、標的材料の補給が容易になり、長時間安定して連続的にLPXを使用することができる。さらに、本手段においては、液状標的を連続的あるいは間欠的に噴出するため、従来の液滴状標的に比べて、標的とレーザー照射の同期が取りやすく、的確に標的に照射することができる。加えて、本手段においては、吐出口とレーザー光照射位置を離すことができるため、プラズマから放出されたイオンや原子などにより吐出口やその周辺部材が削られ、これらが飛散粒子となり光学素子上に付着・堆積して光学素子の性能を劣化させることが少ない。なお、標的材料は常温で液状であってもよいし、加熱・冷却することにより液状となる物であってもよい。

【0015】ここにおいて、「間欠的」とは、レーザーの照射時間に対応する程度の時間のみ液状標的が噴出されている程度の断続性を示す。これに対し、従来の液列は、レーザーの照射間隔より遙かに短い間隔で液列が放出されており、本手段における「間欠的に」放出されていることにはならない。間欠的に標的物質を吐出する方法としては、たとえば、電磁バルブの開閉により、吐出を制御する方法がある。この場合、レーザーの照射直前に電磁バルブを開とし、レーザー照射終了後に電磁バルブを閉とすればよい。

【0016】標的材料として、蒸気圧の高い物質が使用される場合、連続的に標的材料を吐出すると、レーザーを照射されない標的物質すなわち無駄に吐出されている標的物質が蒸発し、真空容器内の圧力が上がってしまっ

て好ましくない。よって、このような場合には、標的物質を間欠的に吐出することが特に重要である。

【0017】前記課題を解決するための第2の手段は、真空中に排気された容器の中に置かれた標的材料にレーザー光を照射することにより、当該標的材料をプラズマ化し、当該プラズマよりX線を発生させるX線発生装置であって、前記標的材料の形態が粉末状であり、この粉末状の標的材料が溶液中に拡散され、当該混濁液が吐出口より連続的又は間欠的に吐出されることを特徴とするX線発生装置(請求項2)である。

【0018】本手段は、形状をテープ状とできないような標的材料に対して好適である。標的材料を連続的に使用する最も簡単な方法は、標的物質の形状をテープ状とすることである。テープ状の標的材料を巻取りながらレーザー光を照射すれば、長時間X線を発生させ続けることができる。また、テープ状とすることにより、標的材

料の厚さが薄くなる（たとえば数 μm ～数十 μm ）ので、飛散粒子の大部分が標的裏面方向に突抜けてしまうため、標的表面方向（レーザー光照射方向）へ放射される飛散粒子量を減らすことができるというメリットもある。

【0019】しかしながら、標的材料の種類によっては、テープ状に形成することが困難な物もある。たとえば窒化ホウ素（BN）や、 B_4C 、 SiC 、 ZrO_2 等のセラミックスや SiO_2 等がこのような標的材料である。しかし、このような材料を粉末状にすることは容易である。よって、これらの材料を粉末化し、粉末状の標的部材を溶液中に拡散（混合）し、この混濁液を吐出口より連続的又は間欠的に吐出させて、この液柱にレーザー光を照射すれば、粉末状の標的材料をプラズマ化でき、標的材料からのX線を利用することができる。

【0020】溶液としては、水、アルコール、オイル等の有機物の液体、アンモニア等の無機物の液体など、液相のものであればどのようなものでも適宜選択して使用できる。また、粉末状の標的部材の大きさは、吐出口よりも小さければよく、おおむね数十 nm ～数十 μm 程度であることが好ましい。

【0021】レーザー光の照射により、溶液もプラズマ化するため、溶液物質からもX線が放出されるが、これらのX線は、フィルターや多層膜ミラーを用いることにより、容易に取除くことができる。たとえば、溶液として有機系の拡散ポンプオイル（アルキル系オイル）を用い、粉末状の標的材料としてBNを用いて、Bイオンから放出されるライマン α 線（波長4.8 nm ）を利用する場合を考える。このBN混濁液にレーザー光を照射すると、溶液である拡散ポンプオイルより、C、O、N等のイオンからのX線が、BNより、B及びNイオンからのX線が放出される。このとき、X線フィルターとして炭素の薄膜（たとえば厚さ2 μm ）を用いると、炭素のK吸収端である波長4.5 nm より短波長のX線は大きく減衰し、吸収端より長波長のX線のみが透過する。C、O、N等のイオンからのX線は、いずれも4.5 nm より短波長なので、炭素フィルターによりカットされ、結果的にBのライマン α 線を取り出すことができる。本手段においても、「間欠的」という意味は、前記第1の手段と同じである。

【0022】前記課題を解決するための第3の手段は、前記第1の手段又は第2の手段であって、標的材料の噴出速度が少なくとも50 m/sec 以上であることを特徴とするもの（請求項3）である。

【0023】粒径の大きな飛散粒子の放出速度は、レーザー光照射条件や標的材料にもよるが、102～103 m/sec 程度であるため、液状標的の噴出速度を50 m/sec 以上とすれば、飛散粒子の放出方向は液状標的の下流側に向きを変えることになる。従って、液状標的の上流側では液滴状の飛散粒子は減少するので、この位置にX線光学素

子を配置すればこれら飛散粒子による光学素子への損傷を低減することができる。

【0024】前記課題を解決するための第4の手段は、前記第1の手段から第3の手段のいずれかであって、液状標的又は混濁液が、溶解された液相の金属であることを特徴とするもの（請求項4）である。

【0025】本手段においては、液状標的又は混濁液として、例えば、亜鉛や鉛、錫のように常温では固体であり、加熱することにより液状となるものを使用する。亜鉛であれば419.58 $^{\circ}\text{C}$ 以上、鉛であれば327.5 $^{\circ}\text{C}$ 以上、錫であれば231.97 $^{\circ}\text{C}$ 以上に加熱すると液体状にすることができる。このようにすることにより、これらの標的材料を（たとえば円盤状の）固体として用いたときよりも、長時間使用できるようになる。

【0026】前記課題を解決するための第5の手段は、前記第4の手段であって、熔融された液相の金属が、錫（Sn）あるいは鉛（Pb）を含む材料であることを特徴とするもの（請求項5）である。

【0027】錫（Sn）は波長13 nm 付近にスペクトルのピークがあるため、錫を含む物質は13 nm の波長を用いる軟X線縮小リソグラフィー用のX線源の標的材料に適している。また、錫は融点が比較的低く（231.97 $^{\circ}\text{C}$ ）容易に液体状にすることができる。また、飽和蒸気圧が低いいため真空中でも蒸発しにくいので、光学素子上に付着・堆積することもない。例えば液体状となっている560 $^{\circ}\text{C}$ 付近であっても、その飽和蒸気圧は約 10^{-11}Torr 程度であり、LPXとして使用される典型的な真空度（数 Torr ～ 10^{-6}Torr ）に比べて十分低い。

【0028】また、本手段においては、熔融された液相の金属材料は、錫を含む合金や化合物であってもよい。例えば、ハンダは錫と鉛の合金であるが、その融点はSn 60%、Pb 40%の場合、183 $^{\circ}\text{C}$ と純粋の錫の場合よりも低く、液状にしやすい。また、錫と同様に、鉛の蒸気圧も約260 $^{\circ}\text{C}$ においても 10^{-11}Torr と非常に低いいため光学素子上に付着・堆積することがない。

【0029】前記課題を解決するための第6の手段は、前記第1の手段から第3の手段のいずれかであって、液状標的又は混濁液が、冷却された液化ガスであることを特徴とするもの（請求項6）である。

【0030】たとえば、 N_2 、 CO_2 、Kr、Xeなどは常温では気体であるが、冷却することにより液状にすることができる。 N_2 の場合には-209.86 $^{\circ}\text{C}$ ～-195.8 $^{\circ}\text{C}$ の間であれば液状となり、 CO_2 の場合には-56.6 $^{\circ}\text{C}$ ～-78.5 $^{\circ}\text{C}$ 、Krの場合には-156.6 $^{\circ}\text{C}$ ～-153.4 $^{\circ}\text{C}$ 、Xeの場合には-111.9 $^{\circ}\text{C}$ ～-108.1 $^{\circ}\text{C}$ であれば液体となる。このような液体状の標的材料を用いると、前例に示した冷却して固体のペレット状にしたときに問題となる破片が生ぜず、光学素子に損傷を与えない。

【0031】前記課題を解決するための第7の手段は、前記第6の手段であって、冷却された液化ガスが、希ガ

ス又は希ガスを含むガスであることを特徴とするもの（請求項7）である。

【0032】液化ガスとして希ガス（Ne、Ar、Kr、Xe、Rn）などを用いれば、レーザー照射された部分は気化し、光学素子に使われている物質とも化学反応しないので、光学素子上に付着・堆積することがない。

【0033】前記課題を解決するための第8の手段は、前記第1の手段から第7の手段のいずれかであって、標的材料として使用される液相の物質又は混濁液を循環使用するための循環機構を具備したことを特徴とするもの（請求項8）である。

【0034】標的材料や、粉末の標的材料を含む混濁液を循環して使用するようにすれば、標的材料や混濁液を外部から供給する必要がないので連続的に使用することができ、装置の使用効率を大幅に上げることができる。特に標的材料や混濁液が高価な場合には、装置のランニングコストを削減することができる。標的材料や混濁液の循環は液相のまま行ってもよいし、途中で固体あるいは気体にして循環するようにしてもよい。途中で固体あるいは気体にして循環するようにすると、常温で固体あるいは気体の物質を使用する場合に都合がよい。たとえば錫などのように加熱して液状にしている場合には、液状のまま循環させようとする、配管系を高温に維持すると共に、循環ポンプなどすべてを高温仕様ものにする必要がある、構成が複雑になりコストアップにもつながる。このような場合には、一度固体にもどしてから輸送し、標的として使用する前に加熱して溶融するようにすれば、循環系は単純になり、信頼性が上がると共にコストも下げることができる。

【0035】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態の例を図を用いて説明する。図1は、本発明の第1の実施の形態を示す概略図である。図1において、100は液化標的溜まり、101は標的材料、102は配管、103はノズル、104はXステージ、105はYステージ、106はZステージ、107は可変アパーチャー、108はXステージ、109はYステージ、110はパイプ、111は容器、112はバルブ、113は容器、114、115、116はバルブ、117はレンズ、118は窓、119は真空容器、120はレーザー光、121はリークバルブ、122は標的材料の液柱である。

【0036】液化標的溜まり100内には液体状の標的材料101が入れている。ここでは標的材料として水（H₂O）が用いられている。液化標的溜まり100は加圧装置（この場合には高圧空気ポンプ）に接続されており、標的材料101は、数気圧～100気圧程度の圧力で圧縮されている。これにより標的材料101は配管102を通り、フィードスルーを通過した後、ノズル103より噴出する。ノズル103から噴出されてできた標的材料の液柱122にレーザー光を照射しプラズマ

を生成してX線を発生させる。

【0037】フィードスルーはXステージ104、Yステージ105、Zステージ106に取り付けられており、ノズル103の位置を調整し、所定の位置にプラズマを生成できるようにしている。標的材料は可変アパーチャー107及びパイプ110を通過した後、容器111内に蓄積される。容器111内は真空排気装置（図示せず）により、標的材料の飽和蒸気圧程度まで減圧されている。可変アパーチャー107はXステージ108及びYステージ109に取り付けられている。

【0038】始め、可変アパーチャー107の開口は最大に開かれており、ノズル103の位置が決定した後、Xステージ108及びYステージ109により可変アパーチャーの中心に標的材料が通過するようにし、可変アパーチャーの開口の径を標的材料の液柱122の径よりもわずかに大きくなるまで徐々に絞る。このようにすることにより、真空容器119と容器111との間で差動排気が行えるようになる。

【0039】容器111内に標的材料が所定の量だけ蓄積されてきたら、バルブ115を徐々に開け、容器113内を排気する。このとき、バルブ112、114、116は閉じられている。容器113内の圧力が容器111と同じになったときバルブ112を開けて容器111内に溜まった標的材料を容器113へ流入させる。その後、バルブ112及び115を閉じ、バルブ116を徐々に開け、容器113と液化標的溜まり100内の圧力が同じになったときにバルブ114を開けて容器113内の標的材料を液化標的溜まり100へ流入させる。標的材料がすべて移動し終わったら、バルブ116、114を閉じ、リークバルブ121を開けて容器113内の圧力を大気圧まで減圧したのち、リークバルブ121を閉じる。以上のようにすることにより、標的材料のレーザー光照射位置への供給を中断することなく、連続的に標的材料を循環させることができる。

【0040】ここで標的材料として使用している水は比較的飽和蒸気圧が高いためプラズマから発生したX線が真空容器内の蒸気により吸収され、減衰してしまう可能性がある。そのため、できるだけ飽和蒸気圧が低くなるように標的材料を冷却している。液化標的溜まり100、配管102、ノズル103、容器111は冷却装置により約1℃に冷却されている。1℃の水の飽和蒸気圧は約5Torrである。標的材料を冷却することにより容器111内の圧力は5Torr程度まで、真空容器119内の圧力は5Torrあるいは、容器111との差動排気ができている場合にはそれ以下の圧力まで減圧することができる。

【0041】真空容器119内の圧力をさらに下げたい場合には標的材料の液柱122部を、レーザー光入射用、レーザー光出射用及びX線取り出し用の開口を設けた部材で覆えば良い。レーザー光出射用の開口はノズル

位置調整時に標的材料に当たらなかったレーザー光が部材に当たるのを防ぐために設けられており、これは必要がなければ無くてもよい。

【0042】図2(a)、(b)にこの実施の形態のノズル近傍の様子を示す。図2において、123は透過レーザー光、124a、124bは部材、125はレーザー光入射開口、126はX線取り出し開口、127はレーザー出射開口であり、その他の符号は、図1と同じ物を示す。

【0043】レーザー光入射開口125、X線取り出し開口126及びレーザー出射開口127を設けた部材124aで液柱122の周りを覆っている。ノズル103と部材124aの間は密着しており、部材124aと可変アパーチャー107の間は極僅かな隙間があいており、可変アパーチャーの位置をX、Yステージ108、109(図1)により変化できるようになっている。このようにすれば液柱122部から真空容器119内へ蒸発する量を低減できるので、真空容器119内の圧力を低下させることができる。もし、必要であれば、部材124a内を排気装置により排気するようにしてもよい。

【0044】図2(b)に示す例においては、図2(a)と同様に液柱122の周囲を部材124bで覆っており、部材124bの内部を排気(排気装置は図示していない)できるようになっている。

【0045】これらの実施の形態でノズル103の開口の径が200 μ m、背圧35気圧のとき、標的材料の流速は約64m/secが得られる。また、ノズル開口径が100 μ m、背圧が100気圧の場合には、標的材料の流速は約150m/secとなる。このようにすると標的物質の流速は50m/secを越えるので、先に述べたように慣性力により粒径の大きな飛散粒子の飛び出し方向を下流側に変えることができる。

【0046】また、上述の実施の形態では液体の状態で回収し、循環させているが、以下の実施の形態で述べるように、一旦、固体あるは気体の状態にして回収、循環させてもよい。上述の実施の形態では標的物質として水を用いているが、これに限るものではない。水は常温で液体であるが、例えば錫やクリプトンなどのように、加熱あるいは冷却することにより液体となる物質であってもよい。加熱することにより液体となる物質の場合には容器、配管ノズル、容器、容器を液化する温度に加熱しておけばよい。また、冷却して液化する物質の場合には容器、配管ノズル、容器、容器を液化する温度に冷却しておけばよい。

【0047】本実施の形態においては、標的材料に比較的高い蒸気圧の水を用いているが、常温で蒸気圧の低い物質を用いれば、上述のように差動排気系を使用しなくてもよいので、装置の構成がより簡単になる。このような材料として、拡散ポンプ用のオイルや、ロータリーポンプ用のオイル等がある。

【0048】本発明の第2の実施の形態の概略を図3に示す。図3において、300は液化標的溜まり、301は標的材料、302は配管、303はノズル、304はXステージ、305はYステージ、306はZステージ、307はパイプ、308はモータ、309はプロペラ、310は螺旋状フィン、311は容器、312はバルブ、313は容器、314、315、316はバルブ、317はレンズ、318は窓、319は真空容器、320はレーザー光、321はリークバルブ、322は標的材料の液柱である。

【0049】本実施の形態では、標的材料としてSnが用いられている。第1の実施の形態においては、加熱あるいは冷却して液体となる物質であっても液体の状態のまま循環させていたが、本実施の形態では一度固体にしてから循環させている。このようにすることにより、加熱あるいは冷却する部分が少なくなるため、装置構成が容易になる。本実施の形態では、装置構成は図1に示した第1の実施の形態とほぼ同じなので、異なるところのみを詳しく説明する。

【0050】液化標的溜まり300の中に標的材料301であるSnが入れられており、液化標的溜まり300はSnが液化する温度まで加熱されている(例えば300 $^{\circ}$ C)。配管302及びノズル303も同様にSnが液化する温度まで加熱されている。液化したSnは圧縮空素により加圧され、配管302を通りノズル303より液体のまま噴出される。真空容器319内に噴出されたSnの液柱322にレーザー光320が照射されX線が輻射される。

【0051】液状のSnはパイプ307を通り容器311内に入るが、モーター308により回転しているプロペラ309に当たることにより飛び散り、容器311の内壁や、容器内311に取り付けられている螺旋状のフィン310に衝突する。容器311及びフィン310は冷却水などによりSnの融点よりも十分に低温(例えば10 $^{\circ}$ C)に冷却されているので、容器311内壁やフィン310に衝突したSnの液滴はすぐさま冷却され、固体の粒子となる。この固体の粒子はフィン310の上を転がりながら落下し、容器311の底に溜まる。Snの粒子が所定の量だけ溜まったならば、バルブ315を開けて容器313内を排気し、真空容器319とほぼ同じ圧力になるようにする。その後、バルブ312を開けて容器311に溜まっていたSnの粒子を容器313内に落下させる。

【0052】その後、バルブ312、315を閉め、バルブ316を徐々に開けて容器313と液化標的溜まり300内の圧力を同じにした後、バルブ314を開けてSnの粒子を容器313から液化標的溜まり300へ落下させる。Snがすべて移動し終わったら、バルブ314、316を閉じ、リークバルブ321を開けて容器313内の圧力を大気圧まで減圧した後、リークバルブ321

を閉じる。液化標的溜まり300内に落下したSn粒子は加熱されて液体状になり、再びノズル303より噴出される。

【0053】先に述べたように300℃程度の液体のSnは飽和蒸気圧が低く、また、容器311内には固体のSnが貯蔵されるため液体のSnに比べて蒸気圧はさらに低くなる。このため、第1の実施の形態のように真空容器319と容器311の間にアパーチャーを入れて差動排気する必要がないので、装置の構成がより単純になる。

【0054】図4に本発明の第3の実施の形態の概要を示す。図4において、400は液化標的溜まり、401は標的材料、403はノズル、404はXステージ、405はYステージ、406はZステージ、407はパイプ、408はモータ、409はプロペラ、410は螺旋状フィン、411は容器、412はバルブ、413は容器、414、415はバルブ、416はリークバルブ、417はベルトコンベア、418は受け皿、419、420、421はバルブ、422はリークバルブ、423はレンズ、424は窓、425はレーザー光、426は標的材料の液柱、427は真空容器、428は容器である。

【0055】図3に示す第2の実施の形態では、固化した標的材料を落下させることにより液化標的材料溜まり300へ移動させていたが、本実施の形態では、ベルトコンベア417により液化標的溜まり400へ運搬している。このようにすることにより、液化標的溜まり300をノズル403の近傍に配置できるので、第2の実施の形態のように液化標的溜まりからノズルまでの長い配管を加熱しなくてもよくなる。

【0056】本実施の形態では、第2の実施の形態と同様に、標的材料としてSnを用いている。Snは300℃程度に加熱され、液化した状態で液化標的溜まり400に蓄えられている。液化したSn401は圧縮窒素により加圧され、同じく300℃程度に加熱されているノズル403より液体のまま噴出される。真空容器427内に噴出されたSnの液柱426にレーザー光425が照射されX線が輻射される。液状のSnはパイプ407を通り容器411内に入り、第2の実施の形態と同様に固化され、Snの粒子として容器411内に蓄積される。

【0057】所定の量のSn粒子が蓄積されたら、バルブ414を開けて容器413内を真空容器427内と同程度の圧力まで排気し、その後バルブ412を開けてSnの粒子を容器413に落下させる。

【0058】その後、バルブ412、414を閉め、リークバルブ416を開けて容器413内を大気圧に戻した後、バルブ415を開けて容器413内にあるSn粒子をベルトコンベア417に移す。Sn粒子はベルトコンベア417により受け皿418に移される。受け皿418にある程度溜まったら、バルブ419を開けてSn粒子を容器428内に流し込む。(このとき、容器428

内は大気圧になっている。)

その後、バルブ419を締めて、バルブ421を徐々に開け容器428と液化標的溜まり400内の圧力が同じになるようにする。そして、バルブ420を開けてSn粒子を液化標的溜まり400に落下させて液化し、再び標的材料として用いる。

【0059】このようにすると液化標的溜まり400を真空容器427の近くに置くことができ、液化標的溜まり400と真空容器427のフィードスルーまでの配管の長さを短くすることができる。このため、加熱しなくてはならない部材を近くにまとめることができるので、装置の構成が容易になる。

【0060】本実施の形態では、大気中に置かれたベルトコンベア417により固化した標的材料を輸送しているが、この輸送は真空中で行ってもよい。第2、第3の実施の形態では標的材料としてSnを用いていたが、これに限らずどのような物質であってもよく、SnやZn等の単一の元素であってもよいし、ハンダなどの合金や化合物であってもよい。第2、第3の実施の形態では加熱することにより液体となる標的物質を用いていたが、冷却することにより液体となる物質であってもよい。

【0061】図5に本発明の第4の実施の形態の概要を示す。図5において、500は液化標的溜まり、501は標的材料、502は配管、503はノズル、504はXステージ、505はYステージ、506はZステージ、507はパイプ、508はモータ、509はプロペラ、510は螺旋状フィン、511は容器、512はバルブ、513は容器、514、515、516はバルブ、517はレンズ、518は窓、519は真空容器、520はレーザー光、521はリークバルブ、522は標的材料の液柱である。

【0062】本実施の形態では、標的材料としてKr(クリプトン)を用いている。液化標的溜まり500にはKrが導入されている。液化標的溜まり500は冷却装置(不図示)により、Krが液化する-156.6℃~-153.4℃になるように制御され、Krは液体の状態で液化標的溜まり500内に貯蔵されている。配管502及びノズル503も同様にKrが液化する温度まで冷却されている。液化したKrは圧縮窒素により加圧され、配管502を通りノズル503より液体のまま噴出される。真空容器519内に噴出されたKrの液柱522にレーザー光520が照射され、X線が輻射される。

【0063】液状のKrはパイプ507を通り容器511内に入るが、モーター508により回転しているプロペラ509に当たることにより飛び散り容器511の内壁や容器内に取り付けられている螺旋状のフィン510に衝突する。容器511及びフィン510は液体窒素などによりKrの融点よりも十分に低温(例えば-209℃)に冷却されているので、容器511内壁やフィン510に衝突したKrの液滴はすぐさま冷却され、固体の粒子とな

る。

【0064】この固体の粒子はフィンの上を転がりながら落下し、容器511の底に溜まる。Krの粒子が所定の量だけ溜まったならば、バルブ515を開けて容器513内を排気し、真空容器519とほぼ同じ圧力になるようにする。その後、バルブ512を開けて容器511に溜まっていたKrの粒子を容器513内に落下させる。容器513も容器511同様に液体窒素などによりKrの融点よりも十分に低温（例えば-209℃）に冷却されている。

【0065】その後、バルブ512、515を閉め、バルブ516を徐々に開けて容器513と液化標的溜まり500内の圧力を同じにした後、バルブ514を開けてKrの粒子を容器513から液化標的溜まり500へ落下させる。Krがすべて移動し終わったら、バルブ514、516を閉じ、リークバルブ521を開けて容器513内の圧力を大気圧程度まで減圧したのち、リークバルブ521を閉じる。液化標的溜まり500内に落下したKr粒子は液体状になり、再びノズル503より噴出される。

【0066】もし、容器511あるいは容器513内で貯蔵されているKr粒子が互にくっつきあい、大きな固まりとなってしまった場合には何らかの攪拌、粉碎機構により粒子状あるいは粒塊状にしてから、次段の容器への移動を行えばよい。第4の実施の形態では、回収した標的材料（Kr）を固化した状態で液化標的溜まり500へ循環させているが、気体の状態で循環させてもよい。

【0067】図6に、本発明の第5の実施の形態の概要を示す。図6において、600は液化標的溜まり、601は標的材料、602は配管、603はノズル、604はXステージ、605はYステージ、606はZステージ、607はパイプ、608はモータ、609はプロペラ、610は螺旋状フィン、611は容器、612はバルブ、613は容器、614、615はバルブ、616は真空容器、617はレーザー光、618はレンズ、619は窓、622は標的材料の液柱である。

【0068】本実施の形態においても、標的材料としてKr（クリプトン）を用いている。液化標的溜まり600にはKrが導入されている。液化標的溜まり600は冷却装置（不図示）により、Krが液化する-156.6℃~-153.4℃になるように制御され、Krは液体の状態で液化標的溜まり内に貯蔵されている。ノズル603も同様にKrが液化する温度まで冷却されている。液化したKrは圧縮窒素により加圧され、ノズル603より液体のまま噴出される。真空容器616内に噴出されたKrの液柱622にレーザー光617が照射されX線が輻射される。液状のKrはパイプ607を通り容器611内に入るが、モータ608により回転しているプロペラ609に当たることにより飛び散り、容器611の内壁や容器内に取り付けられている螺旋状のフィン610に衝突する。

【0069】容器611及びフィン610は液体窒素などによりKrの融点よりも十分に低温（例えば-209℃）に冷却されているので、容器611内壁やフィン610に衝突したKrの液滴はすぐさま冷却され、固体の粒子となる。この固体の粒子はフィンの上を転がりながら落下し、容器の底に溜まる。

【0070】Krの粒子が所定の量だけ溜まったならば、バルブ614を開けて容器613内を排気し、真空容器616とほぼ同じ圧力になるようにする。その後、バルブ612を開けて容器611に溜まっていたKrの粒子を容器613内に落下させる。そして、バルブ612、614を閉めた後、容器613を加熱し容器613に貯まっている固体Krの粒子を気化させる。

【0071】気体となったKrの圧力が液化標的溜まり600内を加圧している窒素ガスの圧力よりも高くなったら、バルブ615を徐々に開け、気化したKrを液化標的溜まり600内に流入させる。流入したKrガスは再び冷却されて液体となり、ノズルより噴出される。

【0072】もし、加圧している窒素ガスの圧力が非常に高く（例えば数10気圧~100気圧程度）、気化したKrを窒素ガスの圧力よりも高くすることが難しい場合には、気化したKrを液化あるいは固体化させるための容器を用意し、一旦、液体または固体にしてから液化標的溜まり600内に導入すればよい。

【0073】容器611（あるいは、もし必要なら気化したKrガスを固体化する容器）内で貯蔵されているKr粒子が互にくっつきあい、大きな固まりとなってしまった場合には何らかの攪拌、粉碎機構により粒子状あるいは粒塊状にしてから、次段の容器への移動を行えばよい。

【0074】なお、この実施の形態では、圧縮窒素により液化Krを加圧してノズルより噴出させているが、気化したKrを用いて液化Krを加圧して噴出させてもよい。このように、気化した状態で循環させれば液化標的溜まりとノズルの距離を近づけられる。このため、液化温度に制御する部材が液化標的溜まりとノズルとその間の短い配管だけとなり、第4の実施の形態のように液化標的溜まりとノズルをつなぐ長い配管を液化温度に制御する必要がないので、装置構成が簡単となる。

【0075】第4、第5の実施の形態においては、標的材料としてKrを用いたが、Krに限らず、常温で気体であり、冷却することにより液体となる物質であればXeやCO₂、N₂などどんなものでもよい。

【0076】上述の実施の形態では、液相の標的材料を用いていたが、粉末状の標的材料を溶液中に混ぜ、混濁液としてノズルから噴出させてもよい。この場合、溶液は常温で液体であってもよいし、加熱又は冷却することにより液相となるものであってもよい。また、粉末状の標的材料としては、BN、B₄C、SiC、ZrO₂等のセラミックスや、SiO₂、又はFe、Cu、Al、S

n等の金属粒子、ラテックス等の有機微粒子等のようなものであってもよい。

【0077】以上の各実施の形態においては、レーザー光の標的材料位置での集光径は任意であるが、標的材料の液柱部の径と同程度あるいはそれよりも大きくすると、標的材料の液柱の同径方向にアブレーションが起こるため、流れに対して直角方向に粒径の大きな飛散粒子が放出されることがなくなるので好ましい。また、以上の各実施の形態では、標的材料を連続的にノズルから噴出させていたが、間欠的に噴出させてもよい。これはレーザーの発光の繰り返し周波数が低い場合（たとえば数10Hz以下）に適している。また、以上の各実施の形態では、標的材料の加圧装置として高圧ガスが用いられているが、加圧装置は任意でよく、コンプレッサーやポンプ（例えばギヤーポンプ）などで加圧してもよい。

【0078】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のうち請求項1に係る発明においては、標的材料の形態が液状であり、吐出口より連続的又は間欠的に吐出されるので、標的物質の密度が気体よりも高く固体密度に近いため高密度のプラズマを生成でき、X線強度を高くすることができる。また、標的材料の補給が容易になり、長時間安定して連続的にLIXを使用することができる。さらに、液状標的を連続的あるいは間欠的に噴出するため、標的とレーザー照射の同期が取りやすく、的確に標的に照射することができる。加えて、吐出口とレーザー光照射位置を離すことができるため、プラズマから放出されたイオンや原子などにより吐出口やその周辺部材が削られ、これらが飛散粒子となり光学素子上に付着・堆積して光学素子の性能を劣化させることが少ない。

【0079】請求項2に係る発明においては、テープ状に加工することができない物質も、粉末状として溶液中に混ぜ、この混濁液にレーザー光を照射することにより、連続して長時間X線を発生させることが可能となる。

【0080】請求項3に係る発明においては、標的材料又は混濁液の噴出速度が少なくとも50m/sec以上であるので、液状標的の上流側では液滴状の飛散粒子は減少する。よって、この位置にX線光学素子を配置すればこれら飛散粒子による光学素子への損傷を低減することができる。

【0081】請求項4に係る発明においては、溶解された液相の金属を標的部材として用いることにより、これらを固体として用いるときよりも、長時間に亘って連続してX線を発生させることができる。

【0082】請求項5に係る発明においては、熔融された液相の金属材料が、錫(Sn)あるいは鉛(Pb)を含む材料であるので、13nmの波長を用いる軟X線縮小リソグラフィ用のX線源の標的材料に適している。また、鉛は融点が比較的低く容易に液体状にすることができ、ま

た、飽和蒸気圧が低いいため真空中でも蒸発しにくいので光学素子上に付着・堆積することがない。

【0083】請求項6に係る発明においては、液状標的又は混濁液が、冷却された液化ガスであるので、冷却して固体のペレット状にしたときに問題となる破片が生ぜず、光学素子に損傷を与えない。

【0084】請求項7に係る発明においては、冷却された液化ガスが、希ガス又は希ガスを含むガスであるので、レーザー照射された部分は気化し、光学素子に使われている物質とも化学反応しない。よって、光学素子上に付着・堆積することがない。

【0085】請求項8に係る発明においては、標的材料として使用される液相の物質又は混濁液を循環使用するための循環機構を具備しているので、標的材料を外部から供給する必要がなく、連続的に使用することができ、装置の使用効率を大幅に上げることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態の概略を示す図である。

【図2】図1に示した実施の形態のノズル付近の構造を示す図である。

【図3】本発明の第2の実施の形態の概略を示す図である。

【図4】本発明の第3の実施の形態の概略を示す図である。

【図5】本発明の第4の実施の形態の概略を示す図である。

【図6】本発明の第5の実施の形態の概略を示す図である。

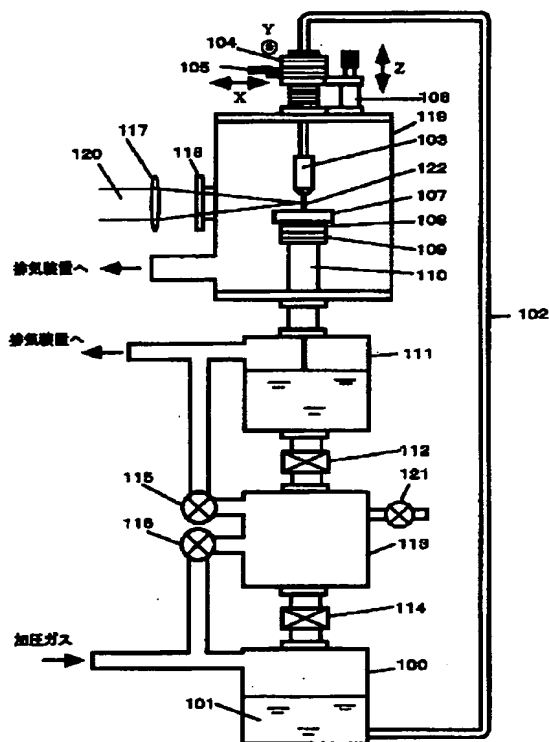
【符号の説明】

100…液化標的溜まり、101…標的材料、102…配管、103…ノズル、104…Xステージ、105…Yステージ、106…Zステージ、107…可変アパーチャー、108…Xステージ、109…Yステージ、110…パイプ、111…容器、112…バルブ、113…容器、114、115、116…バルブ、117…レンズ、118…窓、119…真空容器、120…レーザー光、121…リークバルブ、122…標的材料の液柱、123…透過レーザー光、124a、124b…部材、125…レーザー光入射開口、126…X線取り出し開口、127…レーザー出射開口、300…液化標的溜まり、301…標的材料、302…配管、303…ノズル、304…Xステージ、305…Yステージ、306…Zステージ、307…パイプ、308…モータ、309…プロペラ、310…螺旋状フィン、311…容器、312…バルブ、313…容器、314、315、316…バルブ、317…レンズ、318…窓、319…真空容器、320…レーザー光、321…リークバルブ、322…標的材料の液柱、400…液化標的溜まり、401…標的材料、403…ノズル、404…Xス

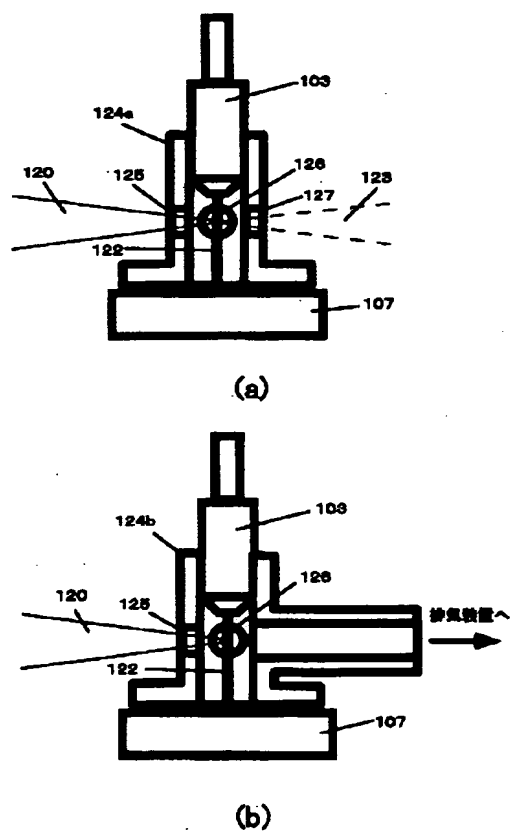
テージ、405…Yステージ、406…Zステージ、407…パイプ、408…モータ、409…プロペラ、410…螺旋状フィン、411…容器、412…バルブ、413…容器、414、415…バルブ、416…リークバルブ、417…ベルトコンベア、418…受け皿、419、420、421…バルブ、422…リークバルブ、423…レンズ、424…窓、425…レーザー光、426…標的材料の液柱、427…真空容器、428…容器、500…液化標的溜まり、501…標的材料、502…配管、503…ノズル、504…Xステージ、505…Yステージ、506…Zステージ、507…パイプ、508…モータ、509…プロペラ、510

…螺旋状フィン、511…容器、512…バルブ、513…容器、514、515、516…バルブ、517…レンズ、518…窓、519…真空容器、520…レーザー光、521…リークバルブ、522…標的材料の液柱、600…液化標的溜まり、601…標的材料、602…配管、603…ノズル、604…Xステージ、605…Yステージ、606…Zステージ、607…パイプ、608…モータ、609…プロペラ、610…螺旋状フィン、611…容器、612…バルブ、613…容器、614、615…バルブ、616…真空容器、617…レーザー光、618…レンズ、619…窓、622…標的材料の液柱

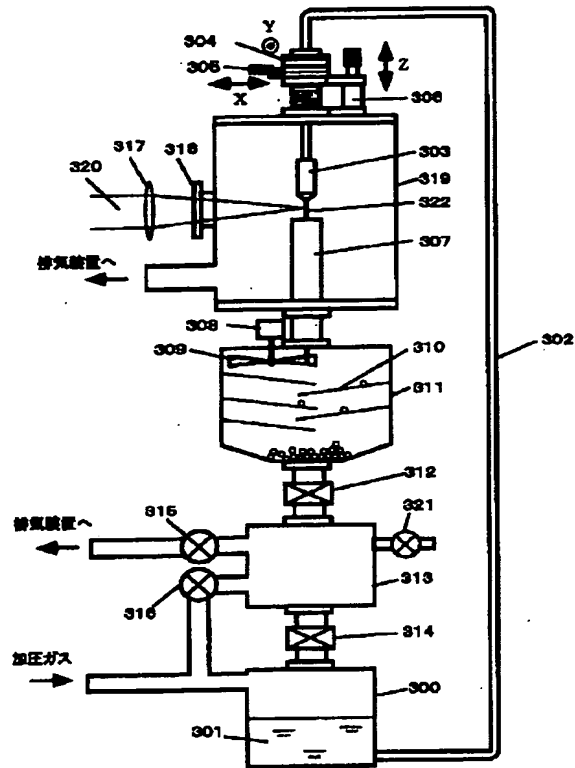
【図1】



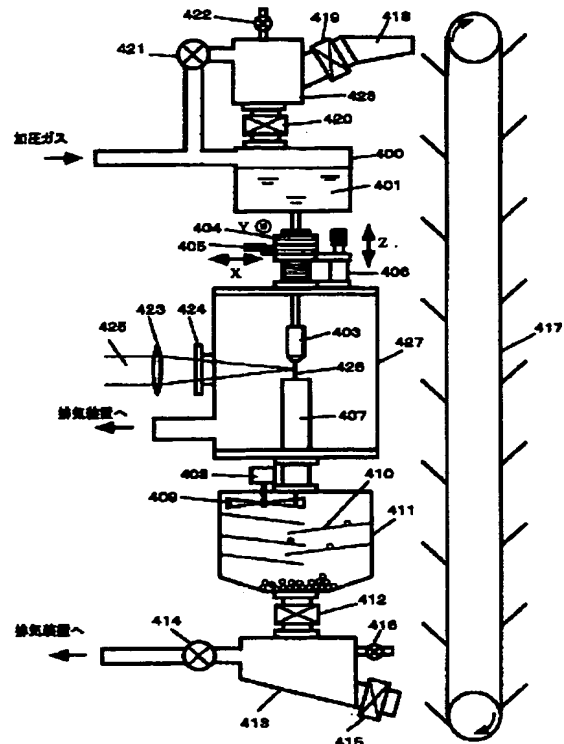
【図2】



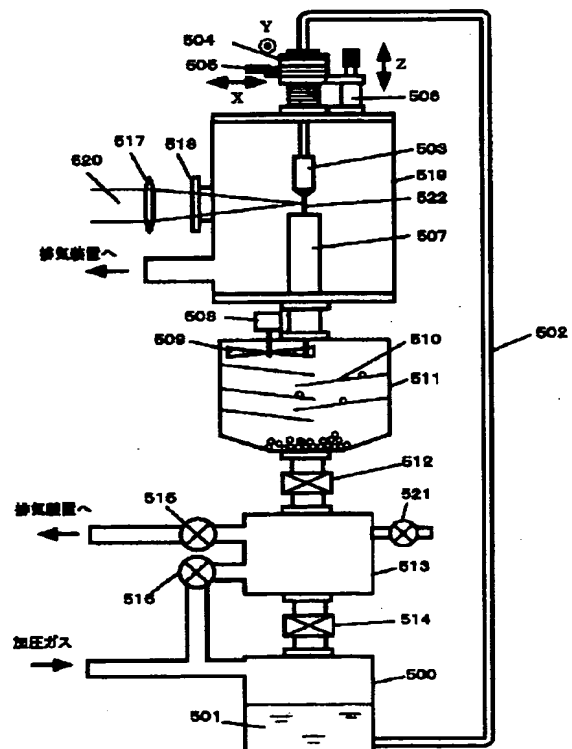
【図3】



【図4】



【図5】



【図6】

